.. SAWICKI,
niwersytetu Jagiellońskiego.

Nowsze metody
fotogrammetrycznych zdjęć kartograficznych.

Odbitka z „Bellony“ № 5, miesięcznika,
wydawanego przez Komisyę Wojskową.

1918.

Tłoczono w drukarni Państwowej Królestwa Polskiego.

Gepr. u. fr. Pres. Warschau, d. 4. VII. 1918. T. № 10440. Dr. № 185.

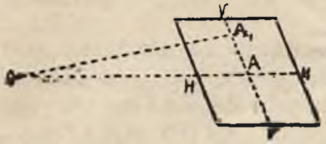
Teorya i technika zdjęć kartograficznych przeszły w ostatnich kilkunastu latach przedwojennych chwile istnie **przełomowe**: teorya kartograficzna oparła się na wręcz nowych podstawach, technika poszczycić się może całym szeregiem wynalazków tak genialnych, że gdyby nie chodziło o gałęź pracy ludzkiej o względnie małem—niesłusznie—praktycznem znaczeniu, pociągnąćby one musiały za sobą istny przewrót całej praktyki życiowej. Potężną rolę odegrały te odkrycia dopiero w czasie toczącej się wojny, w której zastosowano je od samego początku z wynikami nieraz zdumiewającymi.

Jądro całej tej ewolucyi polega na tem, że podczas gdy dawniej rysunek map opierano na możliwie wielkiej, ale przecie skończonej **ilości punktów**, zmierzonych w **terenie**, pomiędzy którymi rysunek mapy musiał być **interpolowanym**, to teraz oprzeć go można na **perspektywicznym**, względnie **stereoskopicznym** obrazie rzeczywistości, otrzymanym za pomocą **fotografii**. Wskutek tego interpolacya zredukowana jest do pewnego minimum, a punkt ciężkości pracy przeniesiony z pola do laboratoryum. Możemy obecnie już marzyć o tem, aby obraz całej powierzchni ziemi złożyć w fotograficznych zdjęciach, jakoby dokumenty w wielkiem archiwum, i z tych zdjęć dokładnie zoryentowanych zrekonstruować każdej chwili rzut poziomy tej powierzchni, t. j. mapę. Wyniki tych nowych metod prowadzą szybciej do celu i są naogół o wiele doskonalsze, niż wyniki starszych metod, które zachowują swoje znaczenie już tylko dla zdjęć mniejszych, oraz dla uzupełnienia i skontrolowania materyału, otrzymanego inną drogą.

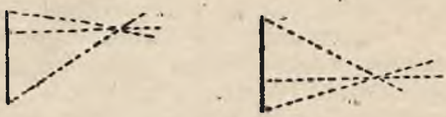
Pierwszy wielki krok na tej drodze uczyniono w chwili, gdy poznano, że z każdej odpowiednio zoryentowanej fotografii, której oryentacyę dokładnie znamy, można na zasadzie perspektywy, jako z obrazu ziemi perspektywicznego, wyznaczyć współrzędne dla nieskończonej ilości punktów, a na danych w ten sposób otrzymanych oprzeć rysunek mapy. Powstała **fotogrammetrya**, którą udoskonalili w pierwszym rzędzie francuzi i niemcy: imiona pułkownika **Laussedat** i profesora **Finsterwaldera** pozostaną zawsze ściśle związane z historyą tej najnowszej metody kartograficznej.

Zasady fotogrammetryi są bardzo proste: chcąc z wszelką możliwą dokładnością zrekonstruować w rzucie poziomym obraz zdjętej przestrzeni, otrzymanej na płycie fotograficznej w skurczeniu perspektywicznem, musimy zastosować soczewkę rysującą dobrze perspektywicznie, oraz znać t. zw. oryentacyę wewnętrzną aparatu i oryentacyę zewnętrzną każdorazowego zdjęcia. Oryentacya wewnętrzna jest dla poszczególnych aparatów (fotogrammetrów lub też fototeodolitów) z reguły stałą; daje nam tę

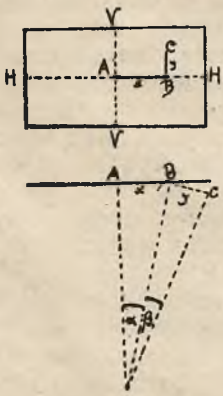
oryentacyę: po pierwsze odległość najkrótsza płyty fotograficznej w aparacie od środkowego punktu soczewki, a dalej położenie t. zw. punktu głównego, t. j. punktu, w którym pion idący z punktu środkowego soczewki dotyka płyty fotograficznej. Dla ustalenia każdorazowej oryentacyi zewnętrznej, trzeba w każdym poszczególnym wypadku zdjęcia stwierdzić (za pomocą kompasu) odchylenie osi aparatu fotograficznego od południka danej miejscowości (azymut), oraz jej nachylenie (inklinacyę) względem poziomu i tym sposobem ustalić na płycie fotograficznej linie poziomą (HH) i pionową (VV na rys. 1). Punkt główny (A) w normalnem położeniu znajduje się w środku płyty fotograficznej, przy nachylonej osi aparatu wychyla się w kierunku pionowym lub poziomym od punktu skrzyżowania się linii poziomej i pionowej (rys. 1). Jeśli zaś o to chodzi, by kąt widzenia w jednym z kierunków pionowych (+ lub —) rozszerzyć, można przesunąć soczewkę aparatu w górę lub w dół; należy jednak dokładnie obserwować rozmiary tego przesunięcia (rys. 2).



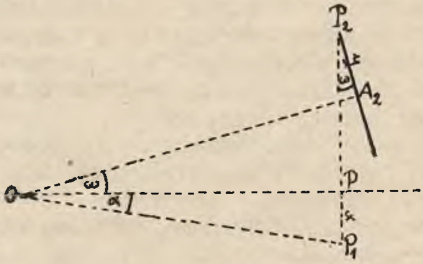
Rys. 1.


Rys. 2.

Kąty, pod którymi widzimy ze stanowiska aparatu jakikolwiek punkt w krajobrazie, można łatwo odtworzyć, a raczej odmierzyć na zdjęciu fotograficznem, a mianowicie z współrzędnych tego punktu na płycie. Przy pionowem położeniu płyty w aparacie rzecz to łatwa (rys. 3): jeśli *C* jest obrazem danego punktu na płycie, *A* punktem głównym, VV zaś linią pionową, a *HH* poziomą, wówczas *x* przedstawia rzędną, *y* odciętą punktu C względem punktu głównego, α kąt poziomy, β pionowy względem środka soczewki (*O*). Trudniejszem jest zadanie odczytania odnośnych współrzędnych i kątów widzenia przy nachylonej płycie fotograficznej: wymaga to już pewnych konstrukcyi i rachunków, jak przedewszystkiem rzutu pionowego i poziomego (rys. 4). Jeśli ω jest kątem nachylenia płyty względem płaszczy-



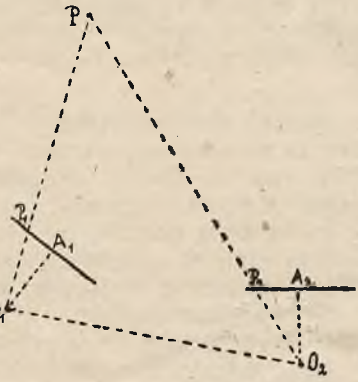
Rys. 3.



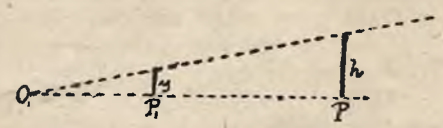
Rys. 4.

zny pionowej P, zaś P_1 i P_2 rzutami punktu P, wówczas A_2 P_2 jest odciętą (y), Pp_1 rzędną (x), α kątem poziomym, a tej β (kąta pionowego) $= \frac{P_2 P}{OP_1}$ [1]).

Mając dwa zdjęcia z różnych, ale dokładnie znanych stanowisk, na których to zdjęciach jest szereg wspólnych punktów, możemy odtworzyć położenie, wzgl. współrzędne tych punktów, bez trudności graficznie. I tak, mając na dwu zdjęciach, wziętych z punktów O_1 i O_2, wspólny punkt P (P_1, wzgl. P_2), możemy położenie punktu P, względnie jego x, w dobrej podziałce otrzymać z prostego rysunku; należy tylko odległość O_1 O_2 oznaczyć w tej samej podziałce, w której się chce otrzymać wyniki, wrysować oryentacyę wewnętrzną i zewnętrzną płyt A_1 i A_2 (rys. 5). Przedłużenia linii O_1 P_1 i O_2 P_2 krzyżują się w P. Względną wysokość (h) punktu P zaś otrzymujemy z konstrukcyi rys. 6, gdzie O_1 P_1, O_1 P odpowiadają tym samym liniom w rysunku 5, a y pochodzi z płyty A_1. Dla kontroli można h też obliczyć z płyty A_2. Odczytanie kątów α i β ułatwia ustawienie teodolitu w miejscu kamery fotograficznej. Wspólne na obu płytach punkty służą przedewszystkiem do skontrolowania azymutów, poziomego ustawienia aparatu oraz odległości płyty od soczewki, a więc dla skontrolowania wewnętrznej i zewnętrznej oryentacyi aparatów. Ponadto jednak można (używając wzorów Pothenot'a lub Hausena) obliczyć z nich stanowiska aparatów oraz podziałki zdjęć, o ile się zna kilka punktów zdjętego terenu z innego już pomiaru.



Rys. 5.



Rys. 6.

Ustaliwszy w ten sposób punkty oparcia całej konstrukcyi, tworzy się obraz kartograficzny (w wielkich podziałkach), poprostu drogą geometryczną i za pomocą przecięci kątów, jak przy zdjęciu stoliczkowem; już zdjęcia fotograficzne z punktów oddalonych od siebie na kilka kilometrów starczą w krajach niewysokiej kultury (pozaeuropejskich) dla stworzenia map w podziałce 1:50000 do 1:100000. Bardzo ładne przykłady tego rodzaju najprostszej „geofotogrammetryi" stanowią Penthera Edżias Dagh, Pietschmanna Mezopotamia lub Kmunkego Mt. Elgon. Szczególnie nadają się tego rodzaju zdjęcia do detalicznych studyów

1) Przy nierównoległym układzie ramki, znajdującej się przed płytą fotograficzną, która ustala punkt główny, można łatwo wprowadzić poprawki geometrycznie lub rachunkowo.

w dziedzinie morfologii (F i n s t e r w a l d e r: lodowiec Vernagt), geologii (W ä l n e r: góry Sonnwendstein), archeologii (S c h i n d l e r - T s c h a m l e r: Ephesus, Aquileja), architektury (D o l e ż a l). By uprościć tego rodzaju zdjęcia i konstrukcye zbudowano specyalne kamery fotograficzne jak: m e t r y c z n ą k a m e r ę Eichberga lub f o t o t a c h i m e t r Doleżala. Zastosowano też specyalne środki dla zdjęć z niespokojnych stanowisk (z okrętu): i tak skonstruował P a g a n i n i aparat dla zdjęć wybrzeży z okrętu, umieszczany w sposób kardański i fotografujący wraz ze zdjęciem terenu też tarczę kompasową, której obraz rzuca pryzmat na soczewkę fotograficzną. Dla wielkich zdjęć w terenie posługujemy się zdjęciami panoramicznemi, dla których skonstruowano osobne kamery, złożone z trzech aparatów o osiach poziomych, ale z płytami pod kątem 60^0 względem siebie ustawionych, tak że jednem zdjęciem objąć można cały widnokrąg. Wskazówka kompasu i libelli bywa fotografowaną równocześnie i automatycznie. Pierwsze tego rodzaju większe zdjęcie fotogrammetryczne na ziemiach polskich przeprowadzonem zostało 20 lat temu w Tatrach przez austryacki zakład wojskowo-geograficzny.

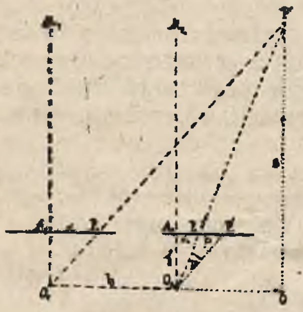
Dokładniejsze już rezultaty od prostej fotogrammetryi daje s t e r e o f o t o g r a m m e t r y a, zwłaszcza w terenach skomplikowanych, górzystych i t. d.; opiera się ona na dwóch zdjęciach, jednakowo zoryentowanych, które uskuteczniono ze stanowisk położonych na obu końcach dokładnie zmierzonej podstawy. Tego rodzaju para zdjęć stanowi niby olbrzymi aparat stereoskopiczny (rys. 7), w którym parę oczu zastępują soczewki obu aparatów (0_1 0_2), a podstawa (0_1 0_2), to niby odległość interokularna. Gdy ustawimy obydwa zdjęcia w zwykłym stereoskopie, to oczy stereoskopicznie uzdolnione, oglądając je równocześnie, otrzymują wrażenie plastycznej rzeczywistości. Jak wiadomo, powodem tego jest t. zw. s t e r e o s k o p i c z n a p a r a l a k s a, to jest pewne odchylenie współrzędnych któregokolwiek punktu na jednej płycie od współrzędnych tychże samych punktów na drugiej. W miarę, jak rośnie oddalenie obu stanowisk zdjęcia, rośnie także ta paralaksa stereoskopiczna, a wrażenie plastyczności się wzmaga.

Paralaksa stereoskopiczna daje podstawę do geometrycznej rekonstrukcyi rzutu poziomego, a więc mapy, z perspektywicznego rzutu pionowego, t. j. zdjęcia fotograficznego. Zasady tej rekonstrukcyi objaśni rys. 7. Ustawiwszy aparaty w 0_1 i 0_2 oddalonych od siebie o podstawę b, zoryentowawszy dalej osie aparatów jednakowo (M w nieskończonej odległości), tak, że punkty główne na płytach fotograficznych znajdują się w A_1 i A_2, otrzymujemy obraz punktu P terenu na płytach w P_1 i P_2 z rzędnych x_1 i x_2. Wówczas paralaksa stereoskopiczna p równa się $x_1 - x_2$, a odległość e punktu P od podstawy 0_1 0_2 na zasadzie podobieństwa trójkątów $O_1 P O_2 \backsim O_2 P_2 P_1'$ (a więc $PO : b = f : p$, jeśli za pomocą f oznaczamy odległość obrazową $O_2 P_2$) jest $e = \frac{b\,f}{p}$. Odległość e z jednej strony, a kąty x_1, względnie x_2 z drugiej strony stanowią zupełnie wystarczające współrzędne polarne punktu P w przestrzeni. Rzędna X i odcięta Y punktu P w przestrzeni względem osi aparatu w O_1 (względnie O_2) stoją w prostym stosunku do x i y na

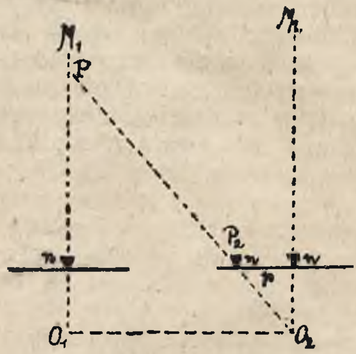
płycie fotograficznej tak, iż $X = x\frac{e}{f}$, $Y = y\frac{e}{f}$, przyczem X oznacza odległość punktu P w przestrzeni od osi fotograficznej $O_1 A_1$, Y względne jego wzniesienie ponad (lub też poniżej) soczewki O_1. Trzecia zaś współrzędna *z*, potrzebna dla umiejscowienia punktu P w przestrzeni, to odległość jego od podstawy zdjęć, a więc $z = e$.

Dzięki stereofotogrammetryi zdołano osiągnąć znaczne sukcesy, zwłaszcza w fotografii szybko mijających zjawisk, np. błyskawic, chmur, światła polarnego, falowania jeziornego i morskiego; zdołano np. skonstruować bardzo drobiazgowe mapki warstwicowe falującej powierzchni morza.

Na tej drodze rozwoju geofotogrammetryi uczyniono znaczny krok naprzód, gdy zdołano obliczyć współczynniki *x*, *y*, *p* drogą mechaniczną i automatyczną, oraz zużytkowywać takie zdjęcia, których osi niekoniecznie były równoległe do siebie. Umożliwiły to wynalazki P u l p i c h a, zwane stereomikrometrem i stereokomparatorem. Zasada s t e r e o m i k r o m e t r a jest następująca (ob. rys. 8):



Rys. 7.



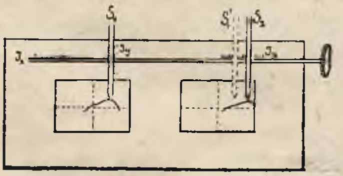
Rys. 8.

przesuwanie ruchomych wskazówek (n) po nieruchomych odbitkach stereofotograficznych w tym celu, by utrzymać wskazówki na tym samym punkcie przestrzeni plastycznej obu zdjęć, umożliwia bezpośrednie odczytanie współrzędnych *x*, *y*, *p*. Jeśli obie wskazówki stoją w samych głównych punktach płyt fotograficznych lub w jednakowych odległościach od osi poziomej lub pionowej, wówczas punkt, na który wskazówki są ustawione, leży w nieskończonej odległości. W miarę jak punkt badany bliżej się znajduje punktów zdjęcia, odległość wskazówek od osi pionowej i poziomej rośnie proporcyonalnie do wzrostu paralaksy stereoskopicznej. W stereomikrometrze (ob. rys. 9) odczytuje się *x* i *y* na lewym obrazie zapomocą wskazówki S_1, a mianowicie x przez odsuwanie wskazówki od osi pionowej, y od osi poziomej; podziałki znajdują się w lx i ly. Zaś *p* stwierdzić można (w lp) na obrazie prawym z różnicy, o którą znak S_2 przesunąć trzeba było względem S_1, aby w obrazie stereoskopicznym obie wskazówki się pokrywały. Cała praca mechaniczna polega więc tylko na tem, by obie wskazówki utrzymać, patrząc się w plastyczną, stereoskopicz-

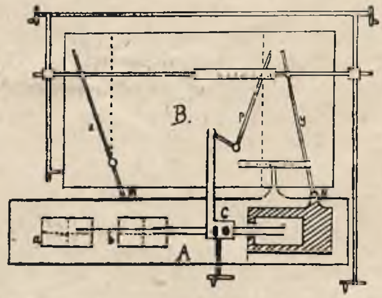
ną przestrzeń, dokładnie w stereoskopicznej koincydencyi. Równocześne odczytywanie podziałek w lx, ly i lp daje współrzędne przestrzenne każdego punktu zdjęcia.

W opisanym właśnie mikrometrze Pulpicha przesuwa się wskazówki, a nieruchomymi są obrazy. Otrzymujemy ten sam, rozumie się, wynik, jeśli wskazówki będą stałe, a obrazy do przesunięcia: tę metodę zastosował Pulpich w swoim stereokomparatorze. Jest to stół z przesuwalnemi ramkami dla dwu płyt szklannych: bierze się bowiem zawsze negatywy, które dobrze prześwietlić można snopem światła, rzuconego za pomocą luster popod płyty. Na negatywy patrzymy przez stereoskop o łamanych ramionach, zaopatrzony w pryzmy, zbliżające obraz obu negatywów na odległość międzyoczną. Tuż za soczewką przyoczną znajdują się dwie stałe wskazówki, a całkiem podobne też na płytach fotograficznych. Wszelkie przesuwanie stereoskopu i płyt dokonuje się za pomocą śrubek mikrometrycznych: obserwacye i odczytania mogą być czynione łatwo, szybko i z wielką dokładnością. Identyfikowanie punktów na obu płytach jest rzeczą bardzo łatwą, o ile tylko oczy danego obserwatora są zdolne do stereoskopicznego patrzenia.

Niebawem Orel wpadł na pomysł, by ruchy stereokomparatora wyzyskać dla bezpośredniego mechanicznego przenoszenia współrzędnych punktów obserwowanych w stereoskopie na papier. W tym celu połączył Orel z stereokomparatorem Pulpicha (ob. rys. 10 A) t. zw. koordynatograf (ob. rys. 10 B), podobny napozór



Rys. 9.



Rys. 10.

do trzyramiennego pantografa, który ramionami swemi mechanicznie przejmuje współrzędne x, y i p, wykonując przytem pewne skomplikowane ruchy. Trojakiego rodzaju ruchy koordynatografa zlewają się w ruchu ołówka, przymocowanego do koordynatografa tak, iż tenże rysuje bezpośrednio rzut poziomy terenu fotografowanego, czyli pozwala na automatyczne stworzenie mapy ze zdjęcia stereoskopicznego.

Przyrząd rysunkowy Orela, zwany przez niego stereoautografem (rys. 10), ma odmiennie od pantografa nietylko jeden, lecz dwa stałe punkty oparcia (M, N): odpowiadają one poniekąd dwom stacyom fotogrammetrycznym zdjęcia stereoskopicznego. Linia zaś łącząca obydwa te punkty odpowiada (zmniejszona w odpowiedniej podziałce) podstawie, łączącej obie stacye

w terenie. Gdy ustawimy wskazówki stereoskopu (c) tak, iż znajdują się właśnie przy tym samym punkcie plastycznie widzianego krajobrazu (a, b), wówczas ołówek koordynatografa znajduje się w odległości od podstawy aparatu rysunkowego, stojącej w stałym stosunku do odległości punktu w terenie od podstawy fotogrammetrycznej (*e*). W tejże odległości od podstawy znajduje się nieskończona ilość punktów, tworzących linię równoległą do podstawy. Wybór punktu właściwego umożliwia współrzędna x, przeniesiona na papier zapomocą ramienia koordynatografa, będącego w ruchu, o ile negatywy stereoskopiczne (a, b) przesuwają się w kierunku osi fotogrammetrycznej x. Względną wysokość tego punktu ponad stanowiska fotogrammetryczne w terenie odczytać można każdorazowo zapomocą ramienia, które tylko wówczas wprawia się w ruch, gdy stereoskop przesuwa się w kierunku osi y.

W ten sam sposób, jak zapomocą stereoautografa Orela otrzymać można rzut poziomy każdego punktu zdjęcia fotogrammetrycznego, można też wprost przenieść na papier rzut poziomy każdej linii w terenie, a więc np. rzek, dróg, granicy lasów, grzbietów i t. d. Przesuwamy tylko wskazówką po plastycznie w stereoskopie widzianej linii, a ołówek koordynatografa rysuje nam równocześnie rzut poziomy. Można iść jeszcze dalej: zatrzymując sam stereoskop, którego przesuwanie daje odciętą y, to jest względną wysokość, na pewnem położeniu (a więc na pewnej wysokości względnej), można wskazówkę przesunąć po planie stereoskopicznym już tylko w kierunku horyzontalnym. Natenczas ołówek rysuje rzut poziomy tej linii poziomej, t. j. warstwicę. Tak więc otrzymujemy bez żmudnych prac w terenie, bez obszernych obliczeń, automatycznie, mapę warstwicową: to też nadaje prostemu, ale genialnemu pomysłowi Orela niesłychaną wartość praktyczną.

Przy ocenie znaczenia tych najnowszych metod fotogrammetryi, zastosowanych przez Orela, należy mieć na uwadze, że z każdego zdjęcia fotograficznego w polu stworzyć można mapę o dowolnej ilości warstwic, których odstępy pionowe mogą też być dowolnie dobrane, przyczem konstrukcya warstwic nie polega na pewnej ilości punktów, połączonych linią interpolowaną, lecz jest ciągłą. Przerwy w konstrukcyi trafiają się tylko tam, gdzie dalszy ciąg warstwicy na obrazie perspektywicznym zakryty jest np. grzbietem górskim. W tych wypadkach uzupełnić należy rysunek warstwic innem zdjęciem stereoskopicznem tej samej okolicy, gdzie właśnie dana przestrzeń nie jest zakryta. Dokładność rysunku stereoautografa jest bardzo wielka: o ile punkty tryangulacyjne znajdowały się na zdjęciach stereofotograficznych, nie wychodziły one na mapie fotogrametrycznej poza trójkątne znaki tryangulacyi. Rysunki Orela zgadzają się ze zdjęciami precyzyjnemi 1 : 10,000, ale są od nich o wiele bogatsze w szczegóły.

Olbrzymi postęp kartografii, opartej o stereofotogrammetryę, wynika z następujących uwag: przedewszystkiem metoda ta skraca w wysokim stopniu czas pracy w polu i w domu. W okolicy wysokogórskiej wymagały dawne metody geodetyczne na zdjęcie obszaru 70 km² w podziałce 1 : 25,000 mniej więcej okresu czteromiesięcznego w polu, sześciomiesięcznego w domu. Dziś ten sam cel osiągnąć możemy przy jednotygodniowej pracy w polu (przy do-

brej pogodzie) i 10 dniach pracy w domu, do czego dodać należy jeszcze około 4-otygodniową reambulacyę w polu celem uzupełnienia zdjęcia stereograficznego nazwiskami, budynkami i t. d. Oszczędność (w czasie i pieniądzach) jest mniejwięcej pięciokrotna. Dalszą korzyścią nowej metody jest bogactwo szczegółów na mapach, opartych wyłącznie na obserwacyach, nie na interpolacyi przy niezależności wzajemnej poszczególnych szczegółów. Przy konstrukcyi map za pomocą stereoautografa autor nie widzi nawet rysunku, wszystkie szczegóły rysuje aparat niezależnie od innych. Nie może być więc tu mowy o manierowaniu rysunku, tak nienaturalnem, a przecież pospolitem na dotychczasowych mapach. Mapy stereoautograficzne robią wrażenie bardziej prawdziwe i naturalne. Generalizowanie nie następuje na oryginalnym rysunku, bogatym w szczegóły, lecz dopiero na podstawie mapy oryginalnej. Wreszcie podnieść jeszcze należy jako dodatnią okoliczność, że podstawa rysunku, a więc zdjęcie stereofotograficzne, pozwala zawsze na skontrolowanie dawniejszych rysunków, oraz na lepsze wyzyskanie w podziałkach większych.

Tym stronom dodatnim nowej metody należy jednak przeciwstawić także pewne strony ujemne: tkwią te ograniczenia po części w terenie, po części w metodzie, po części wreszcie w osobie pracownika. Co do punktu pierwszego należy przedewszystkiem zwrócić uwagę na to, że tylko pogórza i tereny górzyste dostarczają odpowiedniej ilości stanowisk, z których się roztacza szeroki widok na wszystkie szczegóły krajobrazu. Szata roślinna zakrywa w większej lub mniejszej mierze samą powierzchnię ziemi, o którą przedewszystkiem chodzi, i zmusza do pewnych redukcyi.

Powtóre — co do metody — mapa stereoautograficzna może tylko to dać, co daje fotografia; nie daje więc granic politycznych, nazwisk, niektórychs zczegółów dotyczących osadnictwa i t. d. Stereoautografia umożliwia więc tylko plan, który przy pierwszej reambulacyi uzupełnić jeszcze należy w polu. Ważnem dalej jest, że dobre mapy stereoautograficzne wymagają od autora doskonałego zmysłu morfologicznego i zdolności patrzenia stereoskopicznego, przymiotów, których nawet przez usilne ćwiczenia nabyć nie można. Ale jest to też ostatnia resztka wpływów osobistych w konstrukcyi mapy, pozatem wszystko opiera się na metodzie mechanicznej: machina zastępuje na coraz liczniejszych polach robotę ludzką, a więc, jak widzimy, nawet rękę artysty i uczonego kartografa.

Stoimy niewątpliwie przed dalszemi jeszcze możliwościami: tak np. przed wojną już wymyślano sposoby, by zużytkować zdjęcia stereofotograficzne o nierównoległych osiach. Okazało się, że rozwarty do 30° kąt pomiędzy osiami aparatów fotograficznych, nie przeszkadza stereofotograficznemu wyzyskaniu zdjęcia: dalej wymyślano sposób, by ręczne, wielorakie ruchy, konieczne do ustawienia wskazówek na negatywach, zastąpić mechanizmem ekscentrycznym, gdzie ruch jednej ręki wystarczy na wykonanie wszystkich skomplikowanych ruchów stereoautografa. Wreszcie obmyślano sposób prowadzenia ołówka koordynatografa nietylko w jednej płaszczyźnie, w rzucie poziomym, lecz w przestrzeni, wyzyskując także trzecią współrzędną względnej wysokości. Ołówek wówczas nię rysuje mapy, tylko naśladuje rzeczywistą po-

wierzchnię w przestrzeni w zmniejszonej odpowiednio podziałce. Zastępując ołówek łyżeczką, można wprost z fotografii stereograficznej modelować w miękkiej masie rzeźbę terenu zdjętego (stereoautoplast). Lecz ten ostatni genialny wynalazek już wykracza poza ramy właściwej kartografii.

Tak więc metody kartografii rozwinęły się wspaniale w zupełnie nowym kierunku: sztuczne oko soczewek fotograficznych umożliwia plastyczne, przestrzenne patrzenie na teren zdjęcia, płyta fotograficzna utrwala ten obraz i czyni go zdatnym do pomiarów, a maszyny z ramionami, przejmującemi automatycznie pracę żmudnych rachunków, służą do zanalizowania i kartograficznego zużytkowania zdjęć. Dziś jeszcze niepodobna przewidzieć, gdzie kres tych wynalazków i możliwości w dziedzinie nowoczesnej geofotogrammetryi.

Metody geofotogrammetryi utorowały drogę dalszej jeszcze młodszej gałęzi kartografii, t. j. aerofotogrammetryi. Zdjęcie fotograficzne terenu ze stanowiska znajdującego się na powierzchni ziemi ma dużo ujemnych stron: przy pewnem przeładowaniu szczegółami pierwszego planu zdjęcia, plan tylny pozostaje mało wyrazisty, często pozakrywany przedmiotami pierwszego planu, zwłaszcza w terenie falistym. Tego rodzaju zdjęcie terestryczne daje zresztą zawsze rzut pionowy danej okolicy, z którego dopiero żmudnymi sposobami zrekonstruować trzeba rzut poziomy mapą. Te braki przejrzystości oraz równomierności treści usuwają nowsze sposoby fotografowania powierzchni ziemi z powietrza: aerofotogrammetrya. Właściwie już sam rysunek płyty fotograficznej, zdjęty z powietrza, jest, o ile płyta podczas zdjęcia leżała dokładnie poziomo, wierną mapą, odzwierciadlającą rzut poziomy powierzchni ziemi we wszystkich szczegółach, tylko w perspektywie (centralnej).

Myśl stworzenia tego rodzaju map (fotomap) jest stosunkowo stara, pochodzi bowiem z połowy XIX w. Trudności były tylko po pierwsze w technice fotograficznej (należało w podróżach powietrznych wieźć ze sobą ciemnię fotograficzną, umocować aparat tak, by płyta leżała dokładnie poziomo), powtóre jednak i w umiejscowieniu stanowiska, z którego zdjęcie dokonano. Starano się usunąć te trudności w ten sposób, że umocowano aparat w mechanizmie kardańskim, że fotografowano wraz z powierzchnią ziemi także libellę umieszczoną na aparacie, że obliczano po 5 punktów na płycie fotograficznej, znanych już z uprzedniego zdjęcia geodetycznego, co pozwoliło zrekonstruować stanowisko zdjęcia powietrznego drogą geometryczną.

Aparaty aerofotogrammetryczne umocowano pierwotnie na rakietach (zwłaszcza dla celów wojskowych), na latawcach, oraz na balonach bez załogi. Niebawem obmyślono kombinacye aparatów, by jednem zdjęciem objąć możliwie wielki teren. Tak powstał aparat panoramiczny z aparatem środkowym, pionowo ustawionym, a zwróconym soczewką prosto w dół, oraz z seryą 5—7 aparatów bocznych, ustawionych dookoła środkowego i nachylonych względem niego pod kątem 30—45°; wszystkie aparaty zostały ze sobą związane w jedną całość. Z początku zastosowano nadto soczewki o wielkiem polu widzenia, później jednak odstąpiono od tego, albowiem soczewki te nie pozwalają na zdjęcia migawkowe, tak pożądane z innych względów przy ae-

rofotografii. Zwłaszcza na aeroplanach motorowych ekspozycye nie mogą być już ze względu na regularne wstrząśnięcia motoru dłuższe niż 0,1 sekundy. Ekspozycyę uskuteczniano automatycznie za pomocą mechanicznych lub też elektrycznych przyrządów.

Największą trudność przedstawiała jednak okoliczność, że w aerofotogrammetryi przy braku stałego stanowiska zupełnie liczyć nie można na poziome położenie płyt w aparatach w czasie zdjęcia. Nie pomogły tu mechanizmy Cardani'ego, ani metoda równoczesnego fotografowania libelli, mimo że tą drogą możemy stwierdzić odchylenie płyty choćby na $^1|_2{}^0$ dokładnie. Dalszy rozwój okazał się możliwym dopiero po udoskonaleniu metody, mianowicie w tym kierunku, że zdołano naprzód rachunkowo, potem mechanicznie wyzyskać skośne zdjęcia powierzchni ziemi. Ten ważny krok metodyczny uczynił Scheimpflug, konstruując zwany jego nazwiskiem transformator optyczny lub fotoperspektograf.

Fotoperspektograf składa się w zasadzie z soczewki (O) i dwu matówek fotograficznych (ABCD, A'BCD') (rys. 11), dających się ustawić pod dowolnym kątem względem siebie (α). W miejscu jednej płyty wstawia się negatyw skośnego zdjęcia, kąt obiera się zgodnie z nachyleniem płyty fotograficznej podczas zdjęcia pierwotnego. O ile to nachylenie stwierdzono bezpośrednio, ustawienie perspektografu nie przedstawia żadnych trudności; o ile tego nie można było obserwować, stosuje się zasadę optycznej koincydencyi kilku punktów fotografowanych z punktami dawniej geodetycznie ustalonymi, by stwierdzić ex post nachylenia płyty podczas ekspozycyi. Rysuje się więc położenie tych punktów z negatywu na jedną matówkę, ustawia w drugiej rysunek geodetyczny tychże punktów i zmienia kąt między matówkami tak długo, aż obraz obu matówek zleje się w soczewce w jeden. W ten sposób można mechanicznie, bez żmudnych obliczeń, stwierdzić ex post miejsce zdjęcia, kierunek i nachylenie płyty fotograficznej.

Ustaliwszy tym sposobem kąt α, wsuwa się zamiast płyty z rysunkiem geodetycznym świeżą płytę fotograficzną i przefotografowuje się skośne zdjęcie na poziome, na zasadzie odpowiednio zoryentowanego przekroju przez stożek promieni optycznych, wychodzących z soczewki. Uniwersalny perspektograf, ulepszony przez Kammerera, rozwiązuje więc transformacyę perspektywiczną na drodze fotograficzno-mechanicznej.

Płyta fotograficzna ze zdjęciem poziomem, otrzymanem w perspektografie, daje już dokładny rysunek sytuacyi, więc mapę, tylko brak tej mapie plastyki. Uzyskać ją można tylko przez zdjęcia stereograficzne, które należało więc jaknajrychlej zastosować w aerofotogrammetryi. Stereofotogrammetrya wymaga, by sąsiadujące ze sobą zdjęcia pokrywały się wzajemnie teoretycznie na 50%, praktycznie rzecz biorąc na 70 — 80%. Do tego należy zastosować odstępy stanowisk aerofotogrammetrycznych. Przy rozwartości obrazowej soczewek fotograficznych, wynoszącej 140°, przestrzeń fotografowana z wysokości 90 m. 900 m. 2250 m.
wynosi 16 ha 16 km² 100 km².

Ilość potrzebnych do zdjęcia terenu fotografii i stanowisk, zmniejsza się w stosunku do drugiej potęgi wysokości, w której aparat

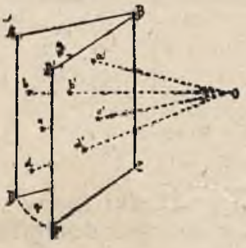
powietrzny przelatuje. Im większa jednak plastyka terenu, tem bardziej należy skrócić odstępy stanowisk.

Od tych więc czynników zależy zdolność i szybkość pracy przy zdjęciach aerofotogrammetrycznych. Minimum wydajności pracy zależy od terenu, maximum od prędkości postępowej aparatu lotnego. Ponieważ wymiana płyt fotograficznych w aparacie wymaga 2 — 3 minut, dopuszczalną jest tylko taka szybkość jazdy, przy której w tym właśnie czasie dolatuje się z jednego stanowiska do drugiego, robiąc 20 — 30 zdjęć na godzinę. Ta szybkość zdjęcia jest — rozumie się — rzeczą niesłychanie ważną, zwłaszcza w czasie lotu przez kraje nieprzyjacielskie, lub w czasie ekspedycyi pzez kraje bezludne, dzikie i t. d. Już przy zdjęciach co 3 minuty zdolność pracy aerofotogrammetrycznej jest olbrzymia.

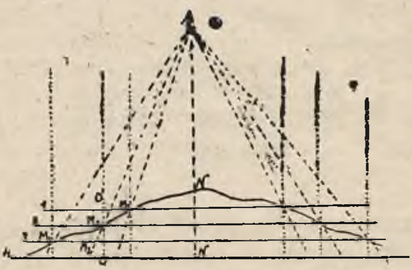
Przy zdjęciach z wysokości	225 m.	900 m.	1800 m.	2700 m.
można objąć w podziałce .	1 : 2500,	1 : 10000,	1 : 20000,	1 : 30000
przestrzeń terenu	12 km²	192 km²	768 km²	1800 km²

Liczby te odnoszą się coprawda tylko do obszarów równinnych, w pogórskich redukują się do 50%, w wysokogórskich do 10%.

W każdym razie oszczędność w czasie i środkach jest przy tej metodzie pracy kartograficznej poprostu niesłychana. Dotych-



Rys. 11.



Rys. 12.

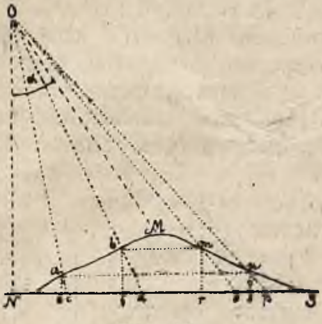
czas kartograf zawodowy mógł w rocznej pracy pobieżnie zdjąć około 850 km², tą samą przestrzeń można aerofotogrammetrycznie zdjąć obecnie w jednej godzinie.

Praca w domu polega, jak przy geofotogrammetryi, przedewszystkiem na stereoskopicznem wyzyskaniu zdjęć. To opracowanie jest przy zdjęciach z lotu ptaka do pewnego stopnia łatwiejsze i owocniejsze, niż przy zdjęciach terestrycznych, a to z tej przyczyny, że przy zdjęciach powietrznych stosujemy bardzo wielkie podstawy stereofotograficzne, wskutek czego paralaksa stereoskopiczna jest znaczna, a plastyczność obrazów wielka. Rozmaita wysokość, z której się nieraz robi zdjęcia, nie utrudnia opracowania, albowiem przy większem wzniesieniu odległość stanowisk zdjęcia również jest większą, tak, że paralaksa stereoskopiczna jest prawie zawsze mniej więcej jednakowa.

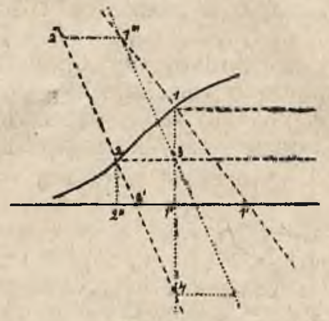
Stereoskopiczne wyzyskanie aerofotogrammów odbywa się więc w ten sposób, że się wprzód całą seryę zdjęć oryentuje, jedne za pomocą punktów geodetycznych, inne nawiązując sąsiadujące ze sobą zdjęcia za pomocą koincydencyi optycznej. Usuwając dalej wpływ niejednakowej względnej wysokości stanowisk zdjęć aerofotograficznych, otrzymujemy rzut poziomy terenu w per-

spektywie — centralnej (t. zn. teren widziany z jednego punktu A., ob. rys. 12). Następne zadanie polega na przemianie projekcyi centralnej na ortogonalną: albowiem mapę możemy sobie wyobrazić, jako rzut poziomy, powstały przez promienie, idące z nieskończonej odległości.

To ostatnie zadanie jest niełatwem, rozwiązanie jego do tej pory nie całkiem ścisłe. Przybliżenie do ścisłości jest jednak tak znaczne, że wystarczy dla celów praktycznych. Weźmy jako przykład (rys. 13) górę *M*, której stoki *MN*, zwrócone ku stanowisku zdjęcia, występują na fotografii nieco zwiększone (cd $>$ ef), stoki odwrócone (*MS*) nieco zmniejszone (op $<$ rs) w porównaniu do mapy ortogonalnej. Odchylenia te są tem większe, im bardziej oddalamy się od linii zenitalnej (*ON*), im większy kąt α. Błędy



Rys. 13.



Rys. 14.

te usunąć można przez stopniową zmianę podziałki mapy w różnych poziomach wzniesienia, jak niemniej w różnych odległościach od stanowiska; zmiany te muszą być dodatnie przy stokach odchylonych od stanowiska, a ujemne przy stokach zwróconych ku niemu. Aby np. rzut punktów 1 i 2 przemienić z rozmiarów 1′2′ na rozmiary 1″ 2″, trzeba strefę 1—2 oddalić od poziomu 2—3 o *h*, czyli zmniejszyć podziałkę. (Rys. 14).

I tę czynność wykonuje uniwersalny transformator Scheimpfluga - Kammerera: za pomocą niego fotografuje się zawsze tylko pewną przestrzeń fotomapy w podziałce dla niej stosownej, podczas gdy reszta mapy przykryta jest warstwą dającej się łatwo zmyć barwy. Przejścia między poszczególnemi częściowemi zdjęciami nie mogą być całkiem łagodne, trzeba więc te składowe części tam, gdzie się stykają ze sobą, retuszować [1]). Odkształcenia, spowodowane przemianą centralnej projekcyi w ortogonalną, zależą przedewszystkiem od nachylenia stoków, pozostają do 10° poniżej 0,1‰, do 40° poniżej 0,6‰. Tą drogą powstaje ostatecznie aerofotomapa.

Fotomapa, t. zn. fotografia powierzchni ziemi, zredukowana w ten sposób, że przemieniła się na mapę, wymaga po pracy w laboratoryum jeszcze pewnej reambulacyi w polu. Tam należy

---

[1]) Przestrzegać tylko należy przy całej czynności staranną oryentacyę osi optycznej wedle linii zenitalnej.

w kopię fotograficzną oryginalnego zdjęcia wpisać i wrysować wszystko to, czego z lotu ptaka dostrzedz nie można było, a więc: mniejsze drogi i rzeczki zakryte w lasach, granice, nazwiska i t. d. Wreszcie zależy i na tem, by w fotomapę wprowadzić pewną plastykę, co nie przedstawia żadnych trudności, gdy naturalne cieniowanie perspektywicznego obrazu podniesiemy nieco sztucznie, tak, że pierwszy plan (szczyty i grzbiety) wystąpi jaśniej, tylny (dna dolin i równin) ciemniej od planu środkowego.

Tak więc krajobraz fotograficzny pozostaje łatwo zrozumiałym, a fotomapa przy matematycznej ścisłości, jednolitości i bogactwie materyału naturalną i przystępną. Jeśli dodamy, że fotogrammetrya, jak to wyżej wyłuszczyliśmy, umożliwia bardzo szybkie (i tanie) zdjęcia, że fotomapy zbliżają się do prawdy o tyle bardziej, niż zdjęcia geodetyczne, że nie opierają się na pomiarach pojedyńczych punktów, złączonych interpolacyą, lecz na nieprzerwanym obrazie fotograficznym, to będziemy w stanie docenić najnowsze zdobycze kartografii. Ich praktyczne i naukowe znaczenie jest równie wielkie: dzięki ścisłości i szczegółowości tego rodzaju zdjęć otwierają się przed praktyką techniczną (budowy dróg żelaznych, bitych i wodnych, melioracyi, regulacyi wód) szerokie i nowe horyzonty. Możność niesłychanie szybkiego zdjęcia terenu nieprzyjacielskiego czyni metody geo- i aerofotograficzne szczególnie ważnemi dla zadań militarnych. A nauka żywić może nadzieję, że w nich właśnie znalazł się środek do zrealizowania jednego z najpoważniejszych postulatów nauki dzisiejszej: stworzenia międzynarodowego archiwum foto- i kartograficznego oblicza kuli ziemskiej.